

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2002026370 A

(43) Date of publication of application: 25.01.02

(51) Int. Cl

H01L 31/10

G02B 6/122

H01L 31/0232

(21) Application number: 2000205282

(71) Applicant: FUJITSU LTD

(22) Date of filing: 06.07.00

(72) Inventor: YASUOKA NAMI

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT RECEIVING DEVICE

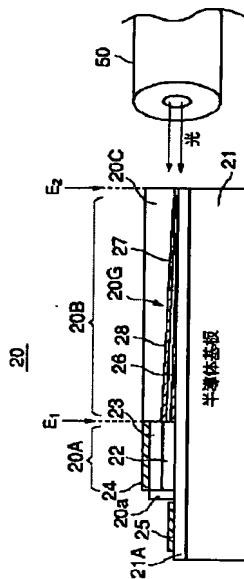
本発明の第1実施例による半導体受光装置の構成を示す図

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to shorten the element length by improving coupling of an optical waveguide and a photodiode in high-speed semiconductor light receiving device with the optical waveguide and the photodiode in a body.

SOLUTION: An optical waveguide region in an optical waveguide is composed of a plurality of tapered optical waveguides with their thickness increasing continuously as it goes to the forward direction of the light wave, and an intermediate layer with almost constant thickness between them.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-26370

(P2002-26370A)

(43)公開日 平成14年1月25日 (2002.1.25)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 01 L 31/10  
G 02 B 6/122  
H 01 L 31/0232

識別記号

F I  
H 01 L 31/10  
G 02 B 6/12  
H 01 L 31/02

テマコード(参考)  
A 2 H 04 7  
B 5 F 04 9  
A 5 F 08 8  
C

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全10頁)

(21)出願番号

特願2000-205282(P2000-205282)

(22)出願日

平成12年7月6日 (2000.7.6)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72)発明者 安岡 奈美

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100070150

弁理士 伊東 忠彦

最終頁に続く

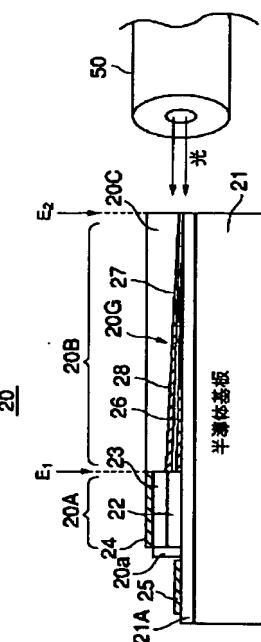
(54)【発明の名称】 半導体受光装置

(57)【要約】

【課題】 フォトダイオードに一体的な光導波路を備えた高速半導体受光装置において、フォトダイオードの素子長を短縮すべく、光導波路とフォトダイオードとの光結合を向上させる。

【解決手段】 光導波路中の光導波領域を、厚さが光波の進行方向に連続的に増加する複数のテーパ状光導波路と、間に介在する厚さが略一定の中間層とより構成する。

本発明の第1実施例による半導体受光装置の構成を示す図



**【特許請求の範囲】****【請求項1】** 主表面を有する基板と、

前記基板の主表面上の一部の領域上に形成され、該主平面に平行な受光層を含み、該受光層は半導体で形成され、受けた光に応じてキャリアを生成する光検出部と、

前記基板の主表面上に形成され、該主表面に平行な方向に光を導波させ、前記受光層に光を入射させる光導波路と、

前記光検出部の側面を覆う絶縁性あるいは高抵抗の半導体部材と、

前記光検出部の受光層に、その厚さ方向に電流を流すための電極とを有する半導体受光装置において、

前記光導波路は、第1の端面から第2の端面まで延在し、厚さを前記第1の端面から前記第2の端面まで連続的に減少させる第1のテープ状光導波層と、前記第1の光導波層上に離間して形成され、前記第1の端面から前記第2の端面まで延在し、厚さを前記第1の端面から前記第2の端面まで連続的に減少させる第2のテープ状光導波層とを含み、

前記第1のテープ状光導波層と前記第2のテープ状光導波層との間には、厚さが実質的に一定で前記第1および第2の光導波層のいずれよりも低い屈折率を有する中間層が、前記第1の端面から前記第2の端面まで連続的に延在するように設けられていることを特徴とする半導体受光装置。

**【請求項2】** 前記第1および第2のテープ状光導波層は、前記第2の端面近傍において量子井戸構造を有することを特徴とする請求項1記載の半導体受光装置。

**【請求項3】** 前記第1および第2のテープ状光導波層は、前記第2の端面近傍において約1%の格子歪を生じる組成を有することを特徴とする請求項1または2記載の半導体受光装置。

**【請求項4】** 前記光導波路は、さらに前記第2のテープ状光導波層上に、間に別の中間層を隔てて前記第1の端面から第2の端面まで延在する第3のテープ状光導波層を含み、前記第3のテープ状光導波層は、前記第1の端面から前記第2の端面まで厚さを連続的に減少させ、前記第2のテープ状光導波層は前記第1および第3のテープ状光導波層のいずれよりも大きい屈折率を有することを特徴とする請求項1～3のうち、いずれか一項記載の半導体受光装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

**【発明の属する技術分野】** 本発明は一般に光半導体装置に係り、特にフォトダイオードと共に一体的な光導波路とを備えた半導体受光装置に関する。

**【0002】** 情報処理技術の普及に伴い、今日の光ファイバ通信システムは非常に大きい、しかも急激に増大しつつあるトラヒックに対応できることが要求されている。この要求に対応する方策として、光ファイバ通信シ

ステム中の光信号伝送速度を、従来の10Gbps程度の値から40Gbps以上の値に高めることがあり、その一環として光信号の検出に使われる半導体受光装置の応答速度を増大させる努力がなされている。

**【0003】**

**【従来の技術】** 従来より、光ファイバ通信システムにおいては高速半導体受光装置としてPINフォトダイオードが使われている。PINフォトダイオードではpn接合の間に薄い非ドープ半導体層が介在し、pn接合に伴う接合容量が減少することにより、応答特性の向上が図られている。

**【0004】**かかるPINフォトダイオードの応答速度を向上させ、同時に高い受光感度を達成するために、半導体基板上にPINフォトダイオードを形成する際に、PINフォトダイオードに隣接して光導波路を一体的に形成する構成が公知である。

**【0005】** 図1は、かかるPINフォトダイオードに一体的な光導波路を有する従来の受光装置10の典型的な例を示す。

**【0006】** 図1を参照するに、前記受光装置10はInPなどの化合物半導体基板11と、前記化合物半導体基板11上に形成された光吸収層12Aを含むPINフォトダイオード12と、前記化合物半導体基板11上に前記PINフォトダイオード12に隣接して形成された導波路部13とよりなる。前記導波路部13は光ファイバ等、外部の光導波部材からの光ビームが入射する入射端と前記PINフォトダイオード12に隣接する出射端とにより画成されており、前記入射光ビームを前記入射端から前記出射端まで導波する光導波層13Aと、前記光導波層13A上に形成され、前記光導波層13Aと協働して光を前記光導波層13A中に閉じ込めるクラッド層13Bとにより構成される。

**【0007】** 前記光導波層13Aは前記PINフォトダイオード12の光吸収層12Aに光学的に結合するよう形成されており、光ファイバ等、外部の光導波路14から前記光導波層13A中に入射した光ビームは前記PINフォトダイオード12の光吸収層12Aに効率よく注入される。このため、図1の構成は前記光導波路層13Aと光吸収層12Aとの間の光結合を損なうことなく光吸収層12Aの厚さを1μm以下にまで減少することを可能にし、これにより前記PINフォトダイオードの所望の高速動作が実現される。

**【0008】** このようなPINフォトダイオードではpn接合を形成するp型層とn型層との間に非ドープ半導体層を前記光吸収層12Aとして介在させることにより、接合容量を低減して応答特性を向上させができるが、一方で前記光吸収層12Aの厚さが大きすぎると光吸収層12A中に光励起されたキャリアが前記光吸収層12Aを横切るのに要する時間が増大し、応答特性は劣化してしまう。このような理由から、前記光吸収層

12Aの厚さは $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下に設定するのが好ましい。

#### 【0009】

【発明が解決しようとする課題】一方、かかる従来の光導波路を備えた受光装置では、光ファイバ14等の外部の光導波路を通って伝送される光信号を前記PINフォトダイオード12に供給することになるが、光ファイバ中を伝送される光ビームのビーム径は半值半幅で $3\text{. }5\text{ }\mu\text{m}$ 程度であり、これをそのまま前記光導波路13に導入した場合には、前記光導波路13中の導波層13Aは前記PINフォトダイオード12の光吸収層12Aと実質的に同じ、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の厚さを有するため、前記光導波路13の受光端において大きな光損失が生じることになる。一方、前記光損失の問題を回避するために前記光吸収層12Aの厚さを増大すると、フォトダイオード12の応答特性が劣化してしまう。

【0010】また、先にも説明したように、前記PINフォトダイオード12の応答特性を向上させるためには前記光吸収層12Aの厚さを典型的には $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下に減少させる必要があるが、さらに応答速度を向上させるには、前記pn接合の寄生容量がより低減するように、素子長を可能な限り短縮するのが好ましい。しかし、このように素子長を短縮したフォトダイオードの場合には、前記光吸収層12Aから外れて入射した光ビームは光閉じ込め作用により光吸収層12Aに集光される前に受光端面の反対側の端面から出射してしまうため、光損失を最小化するためには、前記光導波層13Aから前記光吸収層12A中への光注入効率を増大させる必要がある。

【0011】従来より、このようなPINフォトダイオードの薄い光吸収層中に効率よく光注入を行うために、光ファイバの先端に球状のレンズを形成する技術が提案されているが、このようなレンズを使った光結合構成は製造時の許容誤差が厳しく、費用が高くなり、実施が困難である問題点を有している。

【0012】そこで本発明は上記の課題を解決した新規で有用な受光装置を提供することを概括的課題とする。

【0013】本発明のより具体的な課題は、高速応答特性を有し、しかも大きなビーム径で入射する入射光の損失を最小化できる受光装置を提供することにある。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を、主表面を有する基板と、前記基板の主表面の一部の領域上に形成され、該主平面に平行な受光層を含み、該受光層は半導体で形成され、受けた光に応じてキャリアを生成する光検出部と、前記基板の主表面上に形成され、該主表面に平行な方向に光を導波させ、前記受光層に光を入射させる光導波路と、前記光検出部の側面を覆う絶縁性あるいは高抵抗の半導体部材と、前記光検出部の受光層に、その厚さ方向に電流を流すための電極とを有する半導体受光装置において、前記光導波路は、第1の端面から第2の端面まで延在し、厚さを前記第1の端

面から前記第2の端面まで連続的に減少させる第1のテープ状光導波層と、前記第1の光導波層上に離間して形成され、前記第1の端面から前記第2の端面まで延在し、厚さを前記第1の端面から前記第2の端面まで連続的に減少させる第2のテープ状光導波層とを含み、前記第1のテープ状光導波層と前記第2のテープ状光導波層との間には、厚さが実質的に一定で前記第1および第2の光導波層のいずれよりも低い屈折率を有する中間層が、前記第1の端面から前記第2の端面まで連続的に延在するよう設けられていることを特徴とする半導体受光装置により、解決する。

【0015】本発明によれば、前記光導波路において前記第1および第2のテープ状光導波層により形成される光導波領域の実効的な屈折率が、前記第1の端面から前記第2の端面までの間で大きく増大し、これに伴い前記光導波領域中への光閉じ込め作用が前記第1の端面から前記第2の端面に向かって増大する。その結果、前記第1の端面に入来する大きなビーム径を有する光ビームは前記第2の端面に至るまでの間に前記第1および第2のテープ状導波路層中に効果的に閉じ込められ、この状態で前記フォトダイオードの光吸収層中に注入される。その結果、前記入来光ビームは前記光導波路を介して前記フォトダイオードの光吸収層中に効率的に注入され、フォトダイオード受光端面における光損失が最小化される。その際、前記光導波領域を前記第1および第2のテープ状導波路層とすることにより、前記第1および第2の端面の間における屈折率差を、单一のテープ状光導波層を使った場合よりも増大させることができ、前記光導波路を介して入射光ビームを搬送する光ファイバとフォトダイオードとの間に、单一のテープ状光導波路では実現が困難な、効率の高い光結合が可能になる。これに伴い、前記フォトダイオードの素子長を短縮することが可能になり、高速の光信号の検出が実現される。

【0016】本発明において、前記第1および第2のテープ状導波路層は、実質的に同一の組成を有するように形成してもよい。また前記第1および第2のテープ状光導波層は、前記第2の端面近傍において量子井戸構造を有するように形成してもよい。かかる量子井戸構造は、前記第1および第2の光導波層の厚さが薄い前記第2の端面近傍に限定的に形成されるため、量子効果により前記第1および第2の光導波層の屈折率を、前記第2の端面近傍においてさらに局部的に変化させ、光ファイバから入射する入射光ビームの光結合効率をさらに向上させることができる。また前記第1および第2のテープ状光導波層は絶縁膜マスクパターンを使った気相堆積法により形成されるが、このようにして形成された第1及び第2のテープ状光導波層は前記第2の端面近傍において約1%の格子歪を生じる組成を有する。その結果、前記第1および第2の光導波層の屈折率は、前記第2の端面近傍においてさらに局部的に変化し、光ファイバから

入射する入射光ビームの光結合効率をさらに向上させることができになる。前記光導波領域は、さらに前記第2のテーパ状光導波層上に、間に別の中間層を隔てて前記第1の端面から第2の端面まで延在する第3のテーパ状光導波層を含み、前記第3のテーパ状光導波層は、前記第1の端面から前記第2の端面まで厚さを連続的に減少させ、前記第2のテーパ状光導波層は前記第1および第3のテーパ状光導波層のいずれよりも大きい屈折率を有するように形成してもよい。前記光導波領域中にかかる屈折率分布を誘起することにより、さらに効果的な光閉じ込めが可能になる。本発明によれば、前記光導波領域は、前記第1の端面において3.44の実効屈折率を、前記第2の端面において約3.3の実効屈折率を有するように形成できる。本発明では前記第1および第2のテーパ状光導波層の各々は、前記第2の端面において、前記第1の端面における膜厚の約4倍以下の膜厚を有するが、かかる膜厚比が4倍以下のテーパ状半導体層は、前記絶縁膜マスクパターンを使った気相堆積法により、容易に形成することができる。

#### 【0017】

【発明の実施の形態】 [第1実施例] 図2は本発明の第1実施例による半導体受光装置20の構成を示す。

【0018】図2を参照するに、半導体受光装置20はn<sup>+</sup>型領域21Aを表面に形成された非ドープInP基板21上に形成されており、前記n<sup>+</sup>型領域21A上には非ドープInGaAsPよりなる光吸收層22とp型InP層23とよりなるPINフォトダイオード20Aが、同じく前記n<sup>+</sup>型領域21A上に形成された光導波領域20Gとその上のクラッド層20Cを含む光導波路20Bに隣接して形成されている。前記クラッド層20Cは非ドープInPより構成されている。

【0019】前記光導波領域20Gは前記PINフォトダイオード20Aの受光端面に面する導波路20Bの第1の端面E<sub>1</sub>から反対側の第2の端面E<sub>2</sub>まで延在し、前記第1の端面E<sub>1</sub>において前記PINフォトダイオード20Aの光吸收層22にほぼ等しい厚さを有する。一方、前記PINフォトダイオード20Aでは前記受光端

$n_{eff} = (n_1 d_1 N_1 + n_2 d_2 N_2) / (d_1 N_1 + d_2 N_2)$

で与えられる。ただしN<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>は、それぞれ前記光導波路構造中における屈折率がn<sub>1</sub>の層の総数および屈折率がn<sub>2</sub>の層の総数を表す。

【0023】前記端面E<sub>1</sub>においては前記光導波層26、28、30の厚さが大きいため、前記実効的屈折率n<sub>eff</sub>に対するこれらの層の寄与が大きく、従って前記実効的屈折率n<sub>eff</sub>は図3(A)中に破線で示すよう

に、前記層26、28あるいは30の屈折率に近い大きな値、例えば約4.2になる。これに対し、前記端面E<sub>2</sub>においては、前記光導波層26、28、30の厚さは前記中間層27、28の厚さと同程度、あるいはそれ以下であり、必然的に光導波路構造の実効的屈折率n<sub>eff</sub>

面において前記光吸收層22が露出しており、その結果、前記第1の端面E<sub>1</sub>において前記光吸收層と前記光導波領域20Gとの間に損失の少ない光結合が成立する。また前記p型InP層23上にはAu/Pt/Tiアロイ構造のp型電極24が、また前記n<sup>+</sup>型領域21A上には、前記PINフォトダイオード20Aの背後にAu/Ge/Auアロイ構造のn型電極25が形成されている。前記PINフォトダイオード20Aの受光端面に対向する側の端面は半導体層20aにより覆われている。

【0020】前記光導波領域20Gは、前記n<sup>+</sup>型領域21A上に形成され、前記第1の端面E<sub>1</sub>から第2の端面E<sub>2</sub>まで延在し、前記端面E<sub>1</sub>から端面E<sub>2</sub>まで厚さが連続的に減少するテーパ形状を有する非ドープInGaAsP層よりなる第1の光導波層26を含む。前記第1の光導波層26上には、前記第1の端面E<sub>1</sub>から前記第2の端面E<sub>2</sub>まで実質的に一様な厚さで延在する非ドープInP層よりなる第1の中間層27が形成され、さらに前記第1の中間層27上には前記第1の端面E<sub>1</sub>から前記第2の端面E<sub>2</sub>まで延在し、前記端面E<sub>1</sub>からE<sub>2</sub>まで厚さが連続的に減少するテーパ形状の非ドープInGaAsP層よりなる第2の光導波層28が形成される。また、図示は省略するが、前記第2の光導波層28上には前記第1の中間層27と同様な非ドープInPよりなる中間層29が形成され、前記中間層29上には前記第1の光導波層26と同様な、テーパ形状のInGaAsP層よりなる第3の光導波層30とが形成される。

【0021】図3(A)、(B)は、それぞれ前記光導波領域20Gの前記第1の端面E<sub>1</sub>および第2の端面E<sub>2</sub>における屈折率分布を示す。

【0022】図3(A)を参照するに、前記端面E<sub>1</sub>においては前記光導波層26、28、30はいずれも約80nmの厚さを有し、間に介在する厚さが約20nmの中間層27、29と共に、約3.44程度の実効的な屈折率を形成する。一般に、厚さがd<sub>1</sub>で屈折率がn<sub>1</sub>の層と厚さがd<sub>2</sub>で屈折率がn<sub>2</sub>の層とを交互に積層した光導波路構造においては、実効的な屈折率n<sub>eff</sub>は式

(1)

に対する光導波層26、28、30の寄与は小さくなる。その結果、前記端面E<sub>2</sub>においては屈折率の小さい中間層27、29の寄与が大きくなり、前記実効的屈折率n<sub>eff</sub>は、図3(B)に破線で示すように、前記端面E<sub>1</sub>におけるよりも実質的に小さい、約3.3程度の値になる。

【0024】このような、光波の進行方向に屈折率が大きく変化する光導波路20Bに外部の光ファイバ50から典型的には約7μmのビーム径(半值半幅3.5μm)を有する光ビームが入射した場合、光ビームの大部分は前記端面E<sub>2</sub>においてクラッド層20C中に入射するが、入射した光ビームが前記クラッド層20C中を光

軸方向に、すなわち前記PINフォトダイオード20Aの方向に進行するにつれて入射光ビームの光エネルギーは、前記光導波領域20G中に徐々に移行する。その結果、前記入射光ビームが前記PINフォトダイオード20Aの側の端面E<sub>1</sub>に到達した時点においては、入射光ビームは実質的に完全に前記光導波領域20Gに閉じ込められており、前記光導波領域20Gから前記PINフォトダイオード20Aの光吸収層22に、効率よく注入される。

【0025】本実施例においては、かかる光導波領域20G中における光軸方向への大きな屈折率差を有する屈折率分布を、複数のテープ形状の光導波層を積層することにより実現している。かかるテープ形状の半導体層は、絶縁膜マスクを使ったMOVPE工程により形成されるが、単一のテープ形状を有する光導波層によりかかる屈折分布を実現しようとした場合には、端面E<sub>1</sub>とE<sub>2</sub>との間で所望の膜厚比を実現するのが困難である。

【0026】以下、図2の光導波領域20Gの形成工程について説明する。

【0027】図4は、前記光導波領域20Gの形成に使われるSiO<sub>2</sub>マスクパターンを示す平面図、図5(A), (B)は、図4のマスクパターンを使って行われる前記光導波領域20Gの形成工程を示す。ただし、図5(A), (B)は、図4の平面図中、ラインA-A'に沿った断面図を示す。

【0028】図4を参照するに、InP基板21は典型的には0.600mm×0.500mmの矩形形状を有し、その一辺(図示の例では右辺21B)に寄せて、略正方形のSiO<sub>2</sub>マスクパターン40が、前記マスクパターン40の右辺401が前記InP基板21の右辺21Bに一致するように形成されている。前記マスクパターン40の図中左側にはInP基板21の表面、より正確には前記InP基板21の表面に形成されたn<sup>+</sup>型領域21Aが広く露出しており、また上下にもInP基板21が露出している。前記SiO<sub>2</sub>マスクパターン40は、前記PINフォトダイオード20Aがマスクパターン40の略中央部に位置するように形成されており、また前記マスクパターン40中にはその左辺402から前記PINフォトダイオード20Aまで直線的に延在するカット40Aが、前記カット40Aにおいて前記InP基板21の表面が露出するように形成されている。

【0029】図5(A)を参照するに、前記InP基板21上に前記InGaAsP光導波層26が、Inの原料としてTMIn(トリメチルインジウム)を、Gaの原料としてTMGa(トリメチルガリウム)を、Asの原料としてAsH<sub>3</sub>を、またPの原料としてPH<sub>3</sub>を使ったMOVPE法により形成される。その際、InGaAsP層26は、前記InP基板21の露出表面上、例えば図4の点Aでは通常のエピタキシャル成長をするが、MOVPE工程の際の基板温度を600°C、全圧を約

6.7kPa(約50Torr)に設定することにより、前記SiO<sub>2</sub>マスクパターン40上において、気相雰囲気から析出した原料原子の前記マスクパターン40上への堆積を抑制することが可能である。このような条件では、前記マスクパターン40上に析出した原料原子は前記マスクパターン40の表面上を移動し、前記カットアウト40Aに到達したところで露出したInP基板21上に堆積する。その結果、図5(A)に示すように、前記InGaP層26は、前記カットアウト40A中、例えば図4の点Bにおいて、前記PINフォトダイオード20Aに向かって厚さが徐々に増大するテープ形状に形成される。

【0030】次に、図5(B)の工程において、図5(A)の構造上にInP中間層27を、TMInおよびPH<sub>3</sub>を原料としたMOVPE法により形成する。図5(B)の工程においても図4のSiO<sub>2</sub>マスクパターン40は使われるが、基板温度を600°C、全圧を約20kPa(約150Torr)に設定することで、図5(A)の工程におけるような選択成長を抑制することができ、前記カットアウト40A中に前記InP中間層27が、その下のInGaAsP光導波層26を覆うように、略一定の厚さに形成される。

【0031】図5(B)の工程の後、図6(C)の工程において前記SiO<sub>2</sub>マスクパターン40を除去し、新たなSiO<sub>2</sub>マスクパターン40(図示せず)を形成してInGaAsP層およびInP層を先の条件下で順次堆積することにより、前記InP中間層27上に、テープ形状を有するInGaAsP光導波層28と一様な厚さを有するInP中間層29とを形成する。さらに、新たなSiO<sub>2</sub>マスクパターン40(図示せず)を使い、前記InP中間層29上にInGaAsP層をMOVPE法により、先の条件で堆積することにより、テープ形状を有するInGaAsP光導波層30を形成することができる。ただし図6(C)中、簡単のためにInGaAsP光導波層28のみを図示し、InP中間層29およびInGaAsP光導波層29の図示は省略する。

【0032】図6(C)の工程の後、図6(D)の工程において前記InPクラッド層20Cが前記InP基板21上に、このようにして形成された光導波領域20GおよびPINフォトダイオード20Aを覆うように堆積される。さらに図6(D)の構造を図4中の一点鎖線に沿ってへき開し、前記端面E<sub>2</sub>を形成すると共に、前記p型InP層23上に前記p型電極24を、また前記InP基板21表面のn<sup>+</sup>領域21A上にn型電極25を形成する。

【0033】かかるSiO<sub>2</sub>マスクパターン40を使ったMOVPE法によるテープ形状のInGaAsP層26, 28あるいは29の形成の際には、一般に組成が層の延在方向に多少変化する現象が現れる。このため本実施例において前記InGaAsP層26, 28, 30の

組成を膜厚の大きい端面E<sub>1</sub>近傍の領域においてInP基板21に格子整合するように例えればIn<sub>0.818</sub>Ga<sub>0.182</sub>A<sub>0.397</sub>P<sub>0.603</sub>に設定すると、膜厚の薄い端面E<sub>2</sub>近傍の領域においては1%程度の格子不整合が生じることになる。かかる格子不整合は光導波層26、28および30の屈折率を前記端面E<sub>2</sub>近傍において局的に変調するが、その結果前記端面E<sub>2</sub>近傍において先に図3(B)で説明した光導波領域20Gの屈折率がさらに低下し、光導波路20B中に、前記端面E<sub>2</sub>とE<sub>1</sub>との間でより大きな屈折率差を形成することができる。また、前記光導波層26、28、30の各々において、前記端面E<sub>2</sub>近傍の厚さを、量子井戸構造が形成される程度まで薄く設定することも可能である。かかる量子井戸構造の形成によっても、前記光導波層26、28、30の屈折率は、前記端面E<sub>2</sub>近傍において、量子効果により変調を受ける。

【0034】かかるSiO<sub>2</sub>マスクパターンを使ってテープ形状を有する光導波層26、28あるいは30を形成する場合、一般に前記端面E<sub>1</sub>とE<sub>2</sub>との間で可能な膜厚比は最大で4程度で、従って前記光導波領域20Gを单一のテープ状半導体層により形成した場合には、端面E<sub>1</sub>とE<sub>2</sub>との間で前記膜厚比に対応した屈折率差しか実現できない。これに対し、本実施例による光導波路20Bでは前記光導波領域20Gを複数のテープ状光導波層の積層とし、間に厚さが略一定の中間層を介在させることにより、单一のテープ状光導波層を使った場合には得られない大きな屈折率差を実現している。端面E<sub>1</sub>と端面E<sub>2</sub>との間にこのように大きな屈折率差が存在するため、前記光導波領域20G中を端面E<sub>1</sub>からE<sub>2</sub>へとモード変換を受けながら進行する光波は、前記端面E<sub>1</sub>に到達した時点では前記光導波領域20G中に強く閉じ込められており、その結果、前記光波は前記PINフォトダイオード20Aの光吸収層22中に効率よく注入される。

【0035】本実施例において、前記外部の光導波路50は決して光ファイバに限定されるものではなく、他の光導波路であってもよい。

【第2実施例】図7は、本発明の第2実施例による半導体受光装置60の構成を示す。ただし図7中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0036】図7を参照するに、前記半導体受光装置60は先の実施例の半導体受光装置20と実質的に同様な構成を有するが、光導波領域20Gが光導波領域20G'に置き換えられている。

【0037】図8(A), (B)は、前記光導波領域20G'の光軸方向に垂直な電面における屈折率分布を示す。

【0038】図8(A), (B)を参照するに、前記光導波領域20G'においては前記光導波層26および30の組成が中間の光導波層28の組成に対して変化させ

られており、その結果例えば前記光導波層28はIn<sub>0.749</sub>Ga<sub>0.251</sub>A<sub>0.543</sub>P<sub>0.457</sub>の組成を有するのに対し、前記光導波層26および30はIn<sub>0.854</sub>Ga<sub>0.146</sub>A<sub>0.317</sub>P<sub>0.683</sub>の組成を有する。その結果、図7(A), (B)に示すように、前記光導波領域20G'は全体として中央部で大きく周辺部で小さい屈折率分布を有する。かかる構成により、光ファイバ50等の外部の光導波路から入来するビーム径の大きい光ビームが、前記光導波路20G'の中心部に効率的に閉じ込められる。図6の半導体受光装置60のその他の構成は先の半導体受光装置20の場合と同じであり、説明を省略する。

【0039】なお、以上の各実施例において、前記PINフォトダイオード20Aの高速動作を促進すべく、前記p型電極24およびn型電極25をコプレーナ構成としてもよい。この場合には、前記n型電極25は前記PINフォトダイオード20Aの両側に、電解めつき法により、前記p型電極24と実質的に同じ高さに形成される。

【0040】以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において、様々な変形・変更が可能である。

#### (付記)

(付記1) 主表面を有する基板と、前記基板の主表面の一部の領域上に形成され、該主平面に平行な受光層を含み、該受光層は半導体で形成され、受けた光に応じてキャリアを生成する光検出部と、前記基板の主表面上に形成され、該主表面に平行な方向に光を導波させ、前記受光層に光を入射させる光導波路と、前記光検出部の側面を覆う絶縁性あるいは高抵抗の半導体部材と、前記光検出部の受光層に、その厚さ方向に電流を流すための電極とを有する半導体受光装置において、前記光導波路は、第1の端面から第2の端面まで延在し、厚さを前記第1の端面から前記第2の端面まで連続的に減少させる第1のテープ状光導波層と、前記第1の光導波層上に離間して形成され、前記第1の端面から前記第2の端面まで延在し、厚さを前記第1の端面から前記第2の端面まで連続的に減少させる第2のテープ状光導波層とを含み、前記第1のテープ状光導波層と前記第2のテープ状光導波層との間には、厚さが実質的に一定で前記第1および第2の光導波層のいずれよりも低い屈折率を有する中間層が、前記第1の端面から前記第2の端面まで連続的に延在するように設けられていることを特徴とする半導体受光装置。(1)

(付記2) 前記第1および第2のテープ状光導波層は、実質的に同一の組成を有することを特徴とする付記1記載の半導体受光装置。

【0041】(付記3) 前記第1および第2のテープ状光導波層は、前記第2の端面近傍において量子井戸構

造を有することを特徴とする付記1または2記載の半導体受光装置。 (2)

(付記4) 前記第1および第2のテーパ状光導波層は、前記第2の端面近傍において約1%の格子歪を生じる組成を有することを特徴とする付記1～3のうち、いずれか一項記載の半導体受光装置。 (3)

(付記5) 前記光導波路は、さらに前記第2のテーパ状光導波層上に、間に別の中間層を隔てて前記第1の端面から第2の端面まで延在する第3のテーパ状光導波層を含み、前記第3のテーパ状光導波層は、前記第1の端面から前記第2の端面まで厚さを連続的に減少させ、前記第2のテーパ状光導波層は前記第1および第3のテーパ状光導波層のいずれよりも大きい屈折率を有することを特徴とする付記1～4のうち、いずれか一項記載の半導体受光装置。 (4)

(付記6) 前記光導波路は、前記第1の端面において約4.2の実効屈折率を、前記第2の端面において約3.3の実行屈折率を有することを特徴とする付記1～5のうち、いずれか一項記載の半導体受光装置。

**【0042】** (付記7) 前記第1および第2のテーパ状光導波層の各々は、前記第2の端面において、前記第1の端面における膜厚の約4倍以下の膜厚を有することを特徴とする付記1～6のうち、いずれか一項記載の半導体受光装置。

#### **【0043】**

**【発明の効果】** 本発明によれば、前記光導波路中において前記第1および第2のテーパ状光導波路層により形成される光導波領域の実効的な屈折率が、前記第1の端面から前記第2の端面までの間で大きく変化、これに伴い前記光導波領域中の光閉じ込め作用が前記第1の端面から前記第2の端面に向かって増大する。その結果、前記第1の端面に入来する大きなビーム径を有する光ビームは前記第2の端面に至るまでの間に前記第1および第2のテーパ状導波路層中に効果的に閉じ込められ、この状態で前記フォトダイオードの光吸収層中に効率よく注入される。その際、本発明では前記光導波領域を前記第1および第2のテーパ状導波路層とすることにより、前記第1および第2の端面の間における屈折率差を、单一のテーパ状光導波層を使った場合よりも増大させることができ、前記光導波路を介して入射光ビームを搬送する

光ファイバとフォトダイオードとの間に、单一のテーパ状光導波路では実現が困難な、効率の高い光結合が可能になる。これに伴い、前記フォトダイオードの素子長を短縮することが可能になり、高速の光信号の検出が実現される。

#### **【図面の簡単な説明】**

**【図1】** 従来の一体的な光導波路を備えた半導体受光装置の構成を示す図である。

**【図2】** 本発明の第1実施例による半導体受光装置の構成を示す図である。

**【図3】** (A), (B) は、図2の半導体受光装置で使われる光導波路の屈折率分布を示す図である。

**【図4】** 図2の半導体受光装置を製造する際に使われる絶縁膜マスクパターンの例を示す図である。

**【図5】** (A), (B) は、図2の半導体受光装置の製造工程の一部を示す図(その1)である。

**【図6】** (C), (D) は、図2の半導体受光装置の製造工程の一部を示す図(その2)である。

**【図7】** 本発明の第2実施例による半導体受光装置の構成を示す図である。

**【図8】** (A), (B) は、図7の半導体受光装置で使われる導波路の屈折率分布を示す図である。

#### **【符号の説明】**

10, 20, 60 半導体受光装置

11, 21 InP基板

12, 20A PINフォトダイオード

12A, 22 光吸収層

13, 20B 光導波路

13A, 26, 28, 30 光導波層

14, 50 光ファイバ

21B 基板端面

20C クラッド層

20G, 20G' 光導波領域

24 p型電極

25 n型電極

26, 28 中間層

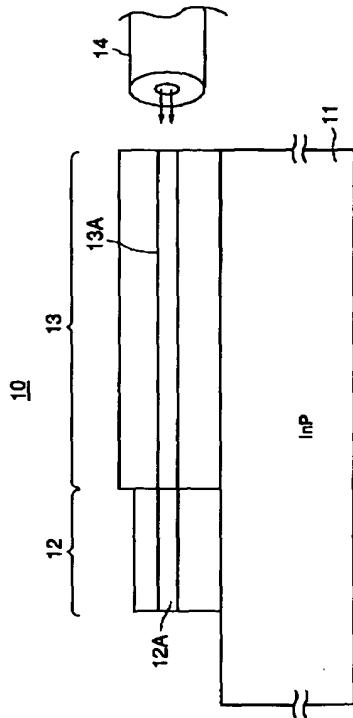
40 SiO<sub>2</sub>マスク

40A, 40B カットアウト

401, 402 辺

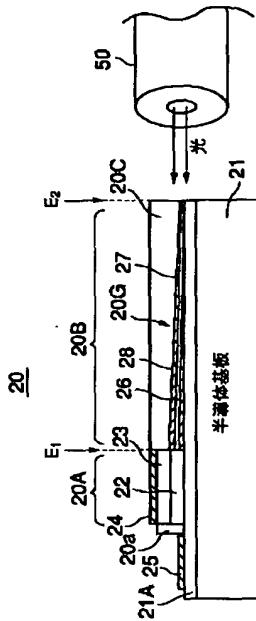
【図1】

従来の一体的な光導波路を備えた半導体受光装置の構成を示す図



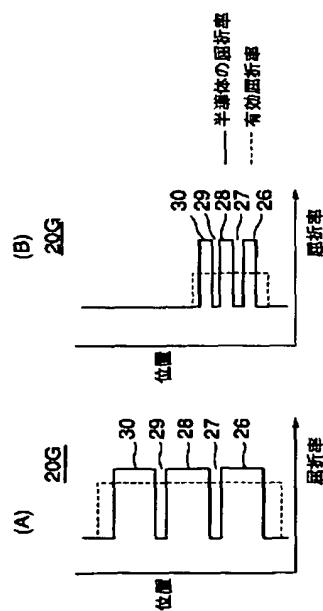
【図2】

本発明の第1実施例による半導体受光装置の構成を示す図



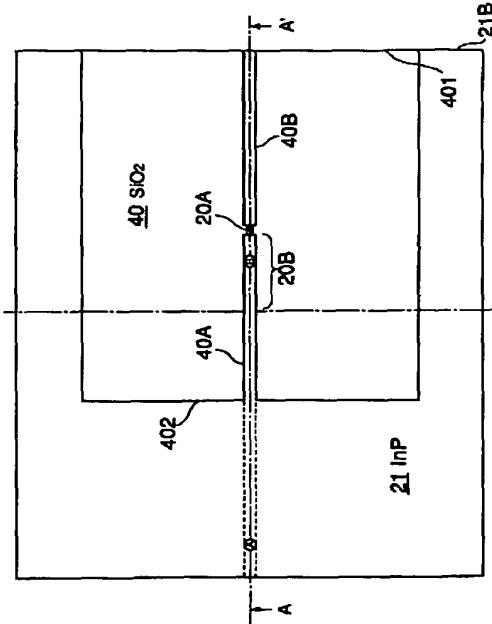
【図3】

(A),(B)は、図2の半導体受光装置で使われる光導波路の屈折率分布を示す図

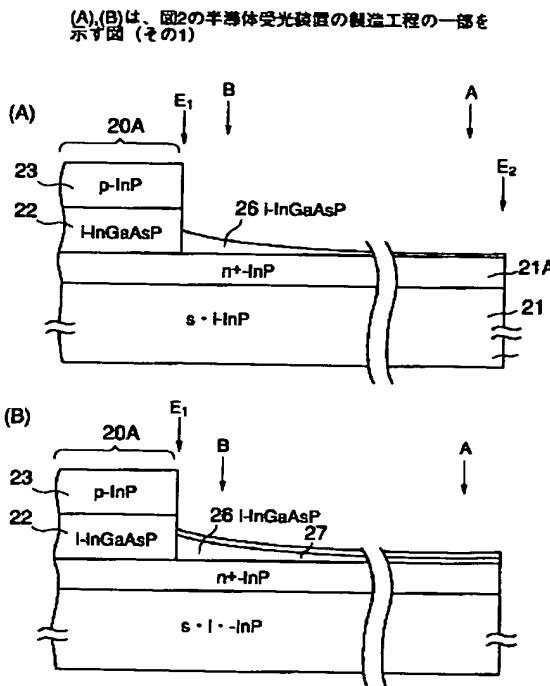


【図4】

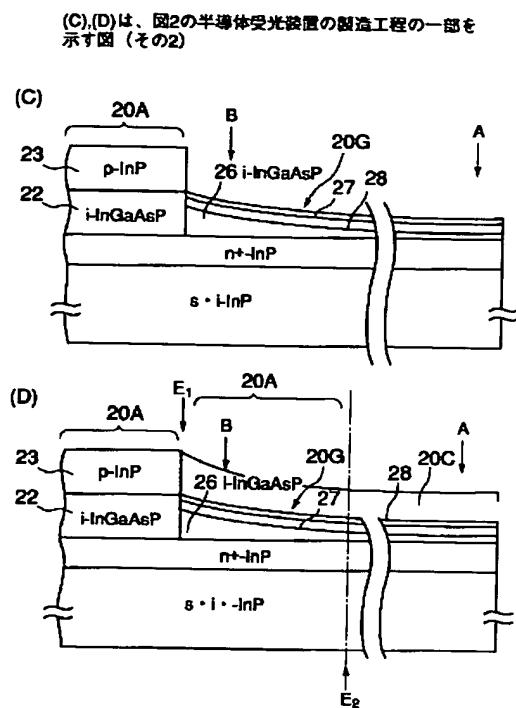
図2の半導体受光装置の製造する際に使われる絶縁膜マスクパターンの例を示す図



【図5】

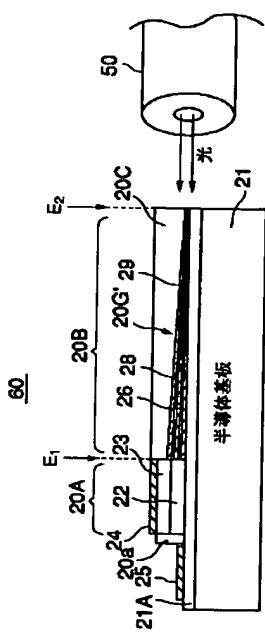


【図6】



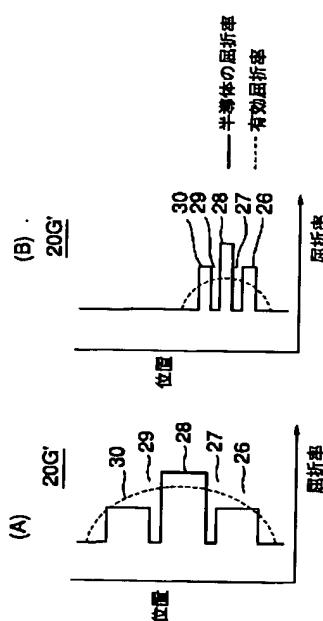
【図7】

本発明の第2実施例による半導体受光装置の構成を示す図



【図8】

(A),(B)は、図7の半導体受光装置で使われる導波路の屈折率分布を示す図



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H047 KA04 KA13 MA05 MA07 PA05  
PA06 PA24 QA02 RA08 TA05  
TA11 TA31  
5F049 MA04 MB07 NA20 NB01 PA04  
QA03 QA08 QA20 RA10 SS02  
SZ20 TA14  
5F088 AA03 AB07 BA20 BB01 CB04  
DA01 DA20 EA20 GA03 HA20  
JA14